

УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ПРОФІЛЮ ТРАСИ НА РЕЗУЛЬТАТИ ГІДРАВЛІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ НИЗЬКОГО ТИСКУ

А.І.Ксенич, М.Д.Середюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166

e-mail: seredjuk@nung.edu.ua

Доведено необхідність урахування впливу профілю траси на результати проектних та експлуатаційних розрахунків газових мереж низького тиску. Запропоновано методику урахування зміни надлишкового тиску газу за рахунок профілю траси на технологічні та економічні параметри систем газопостачання населених пунктів.

Ключові слова: газові мережі низького тиску, профіль траси, гідравлічний розрахунок

Доказана необходимость учета влияния профиля трассы на результаты проектных и эксплуатационных расчетов газовых сетей низкого давления. Предложена методика учета изменения избыточного давления газа за счет профиля трассы на технологические и экономические параметры систем газопотребления населенных пунктов.

Ключевые слова: газовые сети низкого давления, профиль трассы, гидравлический расчет

The necessity taking into account pipeline route profile effect on the results of hydraulic calculations of low-pressure gas networks. Proposed the new technique of accounting changes of gas pressure by including a pipeline route profile on the technological and economic parameters of gas supply pipeline networks.

Keywords: low-pressure gas networks, pipeline route profile, hydraulic calculations

За останні роки, попри на кризу, продовжується розвиток та реконструкція газових мереж населених пунктів України. Газові мережі населених пунктів – це складні трубопровідні системи, що характеризуються різним робочим тиском, різноманітною геометричною конфігурацією, різним профілем траси. Якісне проектування та ефективне обслуговування газових мереж вимагає удосконалення методів їх проектних та експлуатаційних гідравлічних розрахунків. Це визначає актуальність досліджень, виконаних у даній роботі, оскільки вони присвячені удосконаленню методики гідравлічного розрахунку газових мереж низького тиску з урахуванням впливу особливостей профілю траси.

Чинні нормативні документи [1] передбачають урахування профілю траси газопроводів виключно при гідравлічних розрахунках внутрішніх газових мереж будівель. При гідравлічних розрахунках зовнішніх газових мереж високого, середнього і низького тиску зазначений чинник не враховується. На сьогодні відсутні роботи, в яких науково обґрунтовані умови врахування особливостей профілю траси на технологічні розрахунки газових мереж населених пунктів.

Метою досліджень, результати яких наведені нижче, є розробка методики, яка уможливіє врахування особливостей профілю траси як при проектних, так і при експлуатаційних розрахунках газових мереж низького тиску систем газопостачання населених пунктів.

Складову, що враховує вплив профілю траси на гідравлічний опір газових мереж, будемо вводити як у нормативну методику розрахунку, що рекомендована [1], так і в уточнену авторами методику розрахунку газових мереж низького тиску, розроблену у роботі [2].

У разі застосування уточненої методики втрати тиску від тертя на ділянці газових мереж низького тиску визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха. Коефіцієнт гідравлічного опору розраховується за модифікованою формулою Колбрука. Фізичні і термодинамічні властивості транспортованого природного газу обчислюються за умов газових мереж [2]. У разі застосування традиційної методики зазначені розрахунки виконуються згідно з рекомендаціями нормативних документів [1].

Додатковий перепад тиску на ділянці газопроводу низького тиску, зумовлений впливом профілю траси на величину надлишкового тиску газу, може бути обчислений за наближеною формулою

$$\Delta P_{\text{гс}} = g(h_n - h_k)(\rho_{\text{нов}} - \rho), \quad (1)$$

де: g – прискорення сили тяжіння; h_n – геодезична позначка початку ділянки газопроводу; h_k – геодезична позначка кінця ділянки газопроводу (за рухом газу); $\rho_{\text{нов}}$ – густина повітря за умов газових мереж; ρ – густина газу за умов газових мереж.

Враховуючи те, що надлишковий тиск у газових мережах низького тиску не перевищує 3000 Па, формула (1) може бути записана у вигляді

$$\Delta P_{\text{гс}} = g(h_n - h_k)(\rho_{\text{новн}} - \rho_n), \quad (2)$$

де: $\rho_{\text{новн}}$ – густина повітря за нормальних умов; ρ_n – густина газу за нормальних умов.

Із формул (1) і (2) видно, що якщо геодезична позначка кінця ділянки більша за геодезичну позначку початку, то гідростатичний перепад тиску буде від'ємний, в іншому випадку – додатний.

Спочатку дослідимо вплив профілю траси на результати проектного розрахунку газової мережі низького тиску кільцевої структури.

Розглянемо газову мережу низького тиску довільної структури, яка складається з будь-якої кількості контурів. Кожний контур складається з довільної кількості ділянок низького тиску. Кожний контур може мати ділянки, які межують з будь-яким іншим контуром.

Вхідні дані для проектного розрахунку кільцевої газової мережі такі:

- конфігурація газової мережі;
- набір значень стандартних внутрішніх діаметрів труб, які застосовуються для прокладання газових мереж низького тиску;
- масиви довжин, розрахункових витрат газу і геодезичних позначок на початку та в кінці ділянок газової мережі;
- допустимий перепад тиску у газовій мережі ΔP_{don} ;
- фізичні властивості газу;
- середня температура газу в газовій мережі T ;
- абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труб k_e .

Мета розрахунків полягає у визначенні діаметрів ділянок мережі, при яких максимально використовується заданий перепад тиску і виконуються закони Кірхгофа із необхідною точністю.

Позначаємо кількість контурів у газовій мережі n_k . Номер контура позначаємо індексом $k(k=1, \dots, n_k)$, номер ділянки у контурі в довільному порядку позначаємо індексом $i(i=1, \dots, n_{dk})$. Таким чином, довільна ділянка одержує подвійний індекс: перша цифра вказує номер контура, друга – номер ділянки у контурі. Для розпізнавання структури газової мережі для кожної ділянки вводимо третій індекс j , який показує номер контура, з яким межує i -а ділянка k -ого контура. Для ділянок, які не межують з іншими контурами, приймаємо $j=0$.

Знаходимо середній гідравлічний нахил у газовій мережі

$$I_{cp} = \frac{\Delta P_{don}}{1,1 \cdot L_o}, \quad (3)$$

де: L_o – довжина найбільш протяжного основного напрямку руху газу в газовій мережі; 1,1 – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску в місцевих опорах.

Розрахунок передбачає виконання однотипних операцій для кожної ділянки газової мережі, тому для проведення цих розрахунків у комп'ютерній програмі організуються цикли. У межах двох циклів, зовнішнього за індексом k і внутрішнього за індексом i , виконуються такі операції. Для кожної ділянки газової мережі задаємося найменшим стандартним значенням внутрішнього діаметра труби $D_{k,i} = D_{min}$.

Визначаємо розрахункове значення гідравлічного нахилу на ділянці за прийнятого діаметра труби

$$I_{k,i} = \frac{\Delta P_{k,1}}{1,1 \cdot L_{k,i}}, \quad (4)$$

де: $\Delta P_{k,i}$ – загальний перепад тиску на i -ій ділянці k -ого контура,

$$\Delta P_{k,1} = \Delta P_{T_{k,i}} + \Delta P_{zc_{k,i}}; \quad (5)$$

$\Delta P_{T_{k,i}}$ – втрати тиску від тертя і у місцевих опорах на i -ій ділянці k -ого контура; $\Delta P_{zc_{k,i}}$ – зміна гідростатичного тиску, спричинена профілем траси i -ої ділянки k -ого контура; $L_{i,k}$ – геометрична довжина i -ої ділянки k -ого контура.

Втрати тиску газу від тертя та у місцевих опорах $\Delta P_{k,i}$ для кожної ділянки визначаємо згідно з рекомендаціями чинних нормативних документів [1] або за уточненою методикою розрахунку газових мереж, розробленою нами у роботі [2].

Зміну гідростатичного тиску, спричинену впливом профілю траси для кожної ділянки газової мережі, знаходимо за формулою

$$\Delta P_{zc_{k,i}} = g(h_{n_{k,i}} - h_{k_{k,i}})(\rho_{повн} - \rho_n), \quad (6)$$

де: $h_{n_{k,i}}$ – геодезична позначка початку (за рухом газу) ділянки газопроводу; $h_{k_{k,i}}$ – геодезична позначка кінця (за рухом газу) ділянки газопроводу.

Загальний перепад тиску газу на ділянці обчислюємо за формулою

$$\Delta P_{k,i} = \Delta P_{T_{k,i}} + \Delta P_{zc_{k,i}}. \quad (7)$$

Порівнюємо розрахункове значення гідравлічного нахилу на ділянці з середнім значенням цього параметра для газової мережі. За виконання умови

$$I_{pk,i} > I_{cpo} \quad (8)$$

вибираємо для ділянки наступне найближче більше значення стандартного внутрішнього діаметра труби і розрахунки повторюємо, розпочинаючи з формули (4).

Те значення діаметра, за якого відбувається зміна знаку нерівності у формулі (8), вважаємо кінцевим значенням діаметра для i -ої ділянки k -ого контура.

Для перевірки ступеня виконання другого закону Кірхгофа витраті газу на ділянці $Q_{k,i}$ і перепаду тиску на ділянці $\Delta P_{k,i}$ присвоюємо знак “плюс”, якщо рух газу на ділянці відбувається за годинниковою стрілкою, і знак “мінус” – якщо газ на ділянці рухається проти стрілки годинника.

Для всіх контурів газової мережі обчислюємо значення похибки, величина якої вказує на ступінь виконання другого закону Кірхгофа. Якщо хоча би для одного контура похибка перевищує задану точність розрахунку, то необхідно виконати гідравлічну ув'язку шляхом уведення поправочних витрат газу. Гідравлічна ув'язка кілець виконується за методикою, наведе-

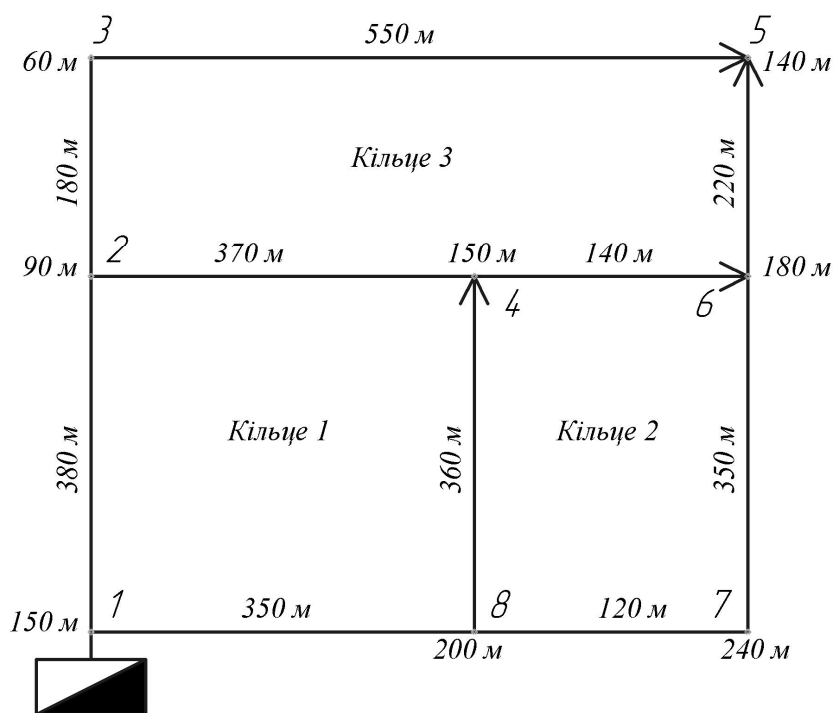


Рисунок 1 – Розрахункова схема газової мережі низького тиску кільцевої структури

Таблиця 1 – Результати розрахунку витрат газу в кільцевій газовій мережі

Ділянка	Довжина l_i , м	Витрата газу, м ³ /год		
		шляхова $Q_{ш}$	транзитна $Q_{т}$	розрахункова Q_p
3-5	550	66,0	0	33,0
2-3	180	21,6	66,0	76,8
4-6	140	16,8	0	8,4
2-4	370	44,4	16,8	39,0
1-2	380	45,6	148,8	171,6
5-6	220	26,4	0	13,2
7-6	350	42,0	26,4	47,4
8-7	120	14,4	68,4	75,6
8-4	360	43,2	0	21,6
1-8	350	42,0	126,0	147,0

деною в [3]. Розрахунок повторюється до тих пір, доки похибка Кірхгофа для всіх контурів не стане меншою від заданої точності розрахунку.

Описаний вище алгоритм реалізований нами у програмі PROFK, яка дає змогу методом комп'ютерного моделювання дослідити вплив профілю траси на результати гідравлічного розрахунку газових мереж низького тиску кільцевої структури.

Аналогічно дослідимо вплив профілю тра-
си на результати проектного розрахунку газової
мережі низького тиску розгалуженої структури.
Алгоритм розрахунку довільної ділянки розга-
луженої газової мережі співпадає з алгоритмом
розрахунку довільної ділянки кільцевої газової
мережі. Відмінність методики гідравлічного
розрахунку полягає у тому, що у газових мере-
жах розгалуженої структури не діють закони
Кірхгофа, і відпадає необхідність у виконанні

процедури гідравлічної ув'язки. Розроблена нами програма PROFR дає змогу методом комп'ютерного моделювання дослідити вплив профілю траси на результати гідравлічного розрахунку розгалужених газових мереж низького тиску. За один захід розраховуються послідовно з'єднані ділянки газопроводів – певний напрям руху газу. Спочатку розглядається основний напрямок руху газу, а далі – всі відгалуження і відводи.

Виконаємо апробацію методик шляхом виконання гідравлічних розрахунків елементів систем газопостачання населених пунктів. Спочатку виконаємо проектний розрахунок газової мережі низького тиску кільцевої структури сільського населеного пункту, розрахункова схема якої наведена на рисунку 1.

Результати визначення розрахункових витрат газу для ділянок газової мережі низького тиску кільцевої структури наведені у таблиці 1.

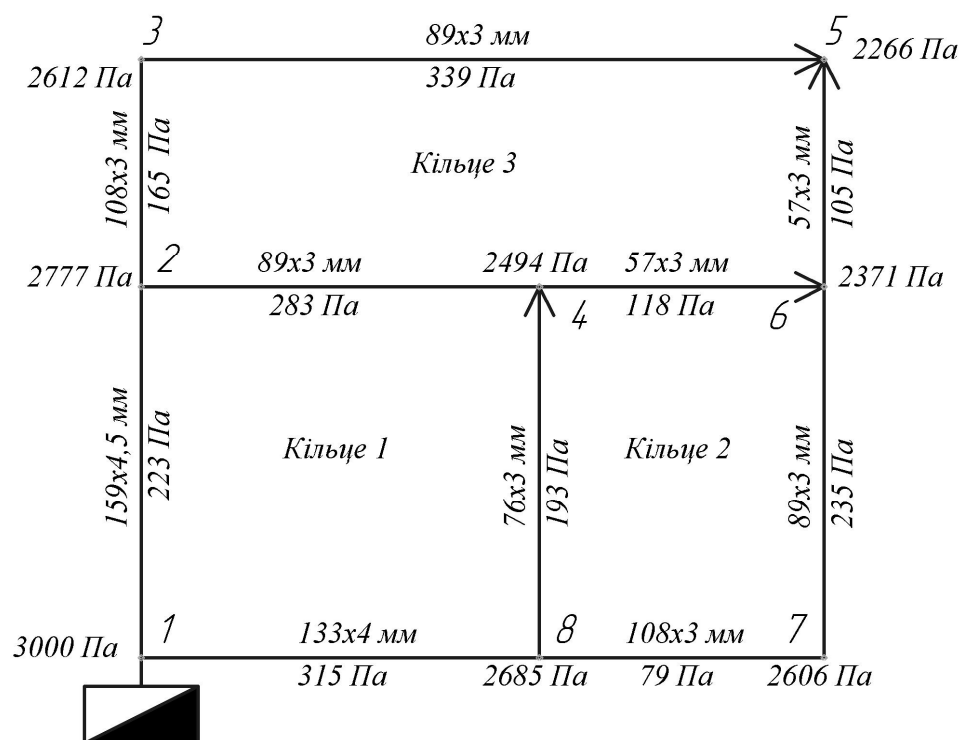


Рисунок 2 – Результати проектного розрахунку газової мережі низького тиску кільцевої структури без урахування профілю траси газопроводів

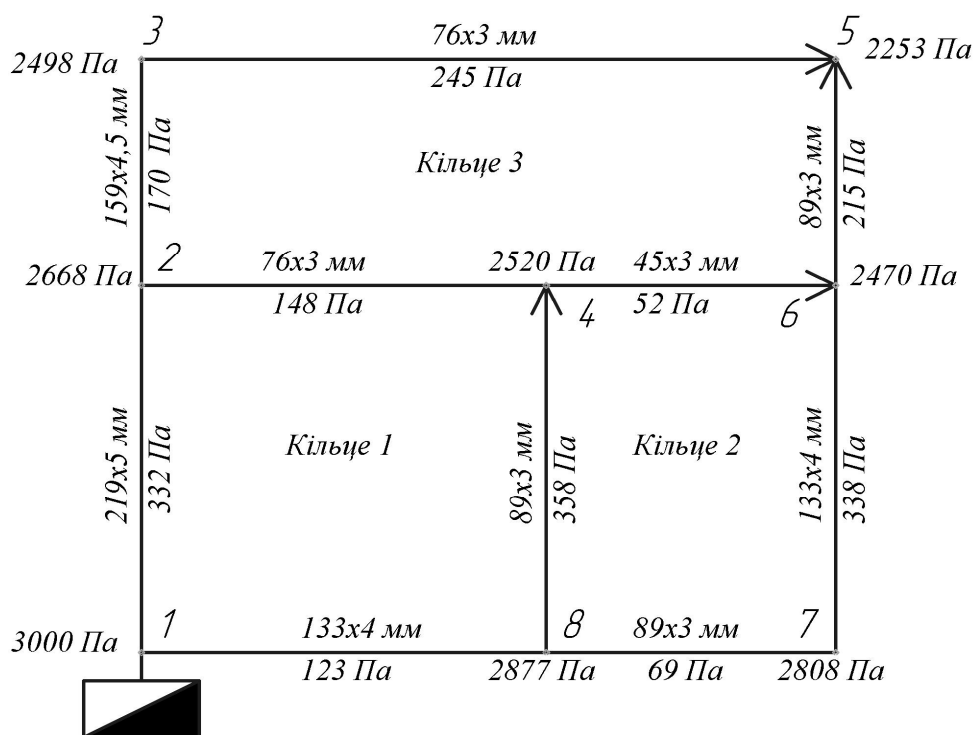


Рисунок 3 – Результати проектного розрахунку газової мережі низького тиску кільцевої структури з урахуванням профілю траси газопроводів

За програмою PROFK виконуємо гідравлічні розрахунки кільцевої газової мережі, наведеної на рисунку 1, без урахування та з урахуванням профілю траси. Одержані результати необхідних діаметрів ділянок, перепадів тиску і надлишкових тисків газу у характерних точках мережі показані на рисунках 2 і 3. Тут наведені

проектні діаметри ділянок, перепади тисків газу на ділянках і величина надлишкового тиску на початку і в кінці кожної ділянки.

Аналіз результатів розрахунків засвідчив, що урахування профілю траси суттєво вплинуло на технологічні параметри кільцевої газової мережі низького тиску. Змінилися як проектні

Таблиця 2 – Результати розрахунку витрат газу в розгалуженій газовій мережі

Ділянка	Довжина l_i , м	Витрата газу, м ³ /год		
		шляхова $Q_{ш}$	транзитна Q_m	розрахункова Q_p
6-8	420	50,4	0	25,2
6-7	320	38,4	0	19,2
4-6	260	31,2	88,8	104,4
4-5	230	27,6	0	13,8
2-4	210	25,2	147,6	160,2
2-3	210	25,2	0	12,6
1-2	280	33,6	198	214,8

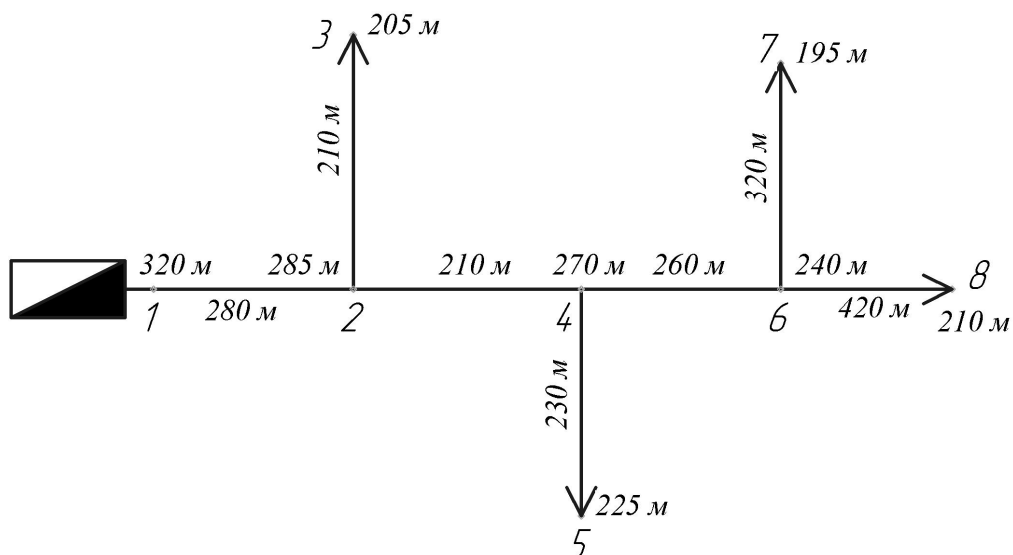


Рисунок 4 – Розрахункова схема розгалуженої газової мережі низького тиску

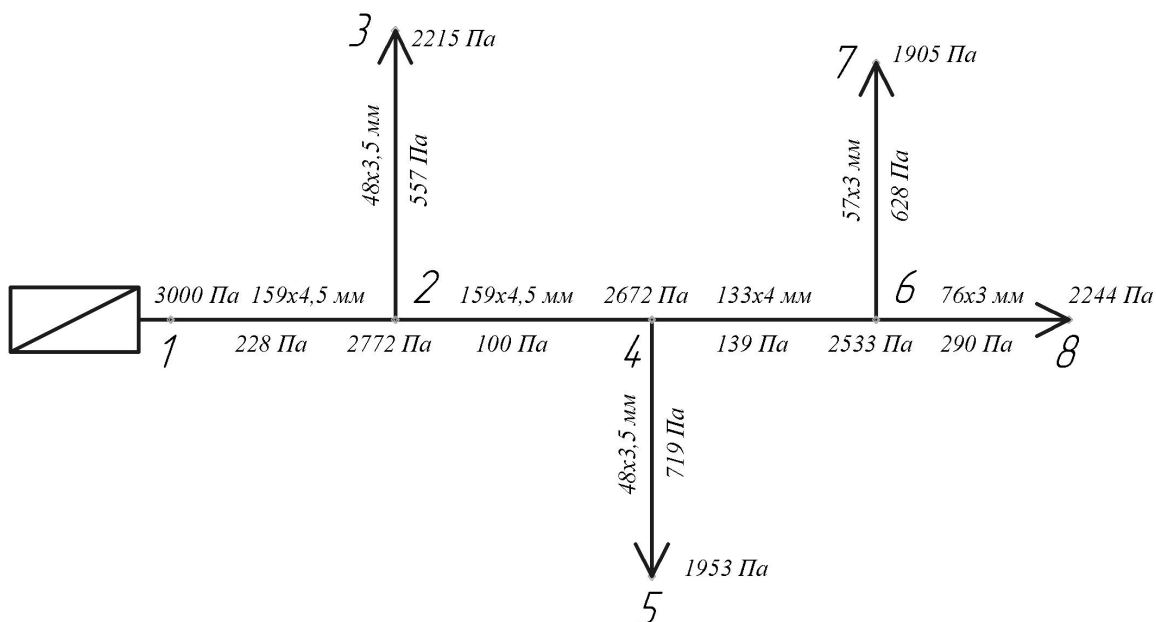


Рисунок 5 – Результати розрахунку розгалуженої газової мережі низького тиску без урахування профілю траси газопроводів

діаметри низки ділянок газової мережі, так і величина надлишкового тиску у характерних точках мережі.

Аналогічно виконаємо проектний розрахунок газової мережі низького тиску розгалуженої структури сільського населеного пункту,

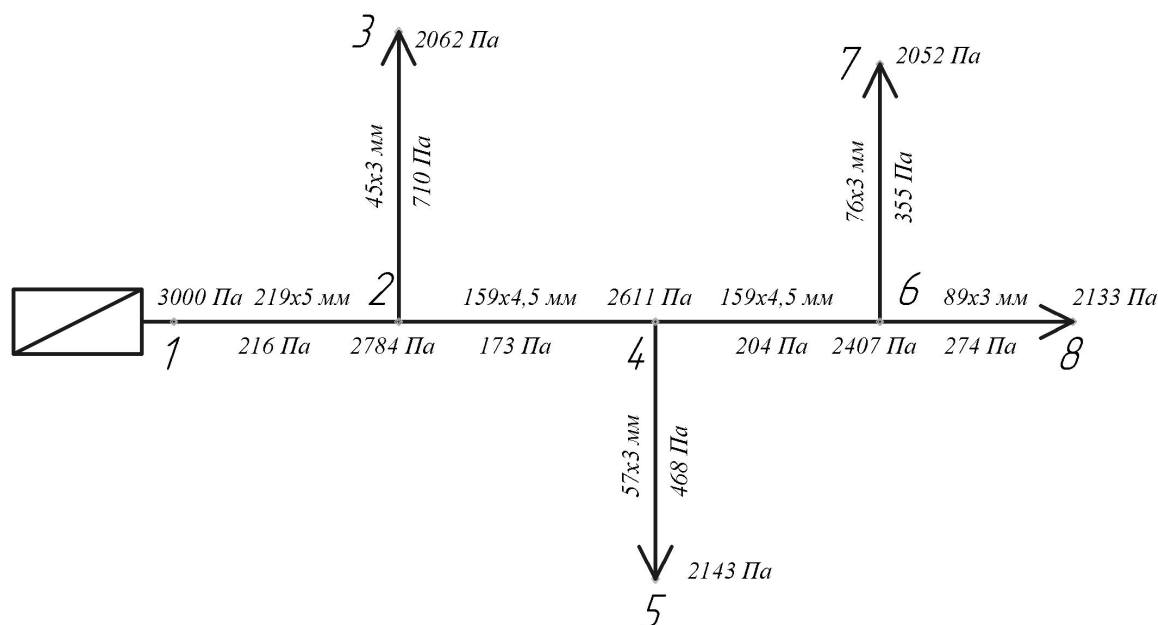


Рисунок 6 – Результати розрахунку розгалуженої газової мережі низького тиску з урахуванням профілю траси газопроводів

розрахункова схема якої зображена на рисунку 4. Результати визначення розрахункових витрат газу наведені у таблиці 2.

За програмою PROFR виконуємо гідравлічні розрахунки розгалуженої газової мережі, наведеної на рисунку 4, без урахування та з урахуванням профілю траси. Одержані результати необхідних діаметрів ділянок, перепадів тиску і надлишкових тисків газу у характерних точках мережі зображені на рисунках 5 і 6.

Слід зауважити, що зміна необхідних діаметрів ділянок газової мережі спричинює відповідні зміни капітальних вкладень у будівництво системи газопостачання населеного пункту. Відмінності тисків газу в елементах газової мережі спричинюють відповідні зміни режиму роботи газових приладів споживачів газу.

Таким чином, дослідження засвідчили, що урахування профілю траси газових мереж низького тиску кільцевої та розгалуженої конфігурації дає змогу виконати більш якісний проект газопостачання населених пунктів, підвищує достовірність визначення технологічних параметрів газових мереж, дає можливість більш точно обчислити економічні показники системи газопостачання.

У процесі експлуатації газових мереж урахування профілю траси дає змогу більш точно прогнозувати витрати і тиски газу в елементах газової мережі, забезпечуючи нормальний режим газопостачання споживачів.

Література

1 Газопостачання: ДБН В 2.5. – 20 – 2001. – [Чинний від 2001-08-01]. – К.: Держбуд України, 2001. – 286 с. – [Держанні будівельні норми України].

2 Ксеніч А.І. Розрахунок газових мереж з використанням формули Колбрука / А.І.Ксеніч // Нафтогазова енергетика. – 2007. – № 4(5). – С. 81-85.

3 Середюк М.Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонний. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 435 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
24.02.10

Рекомендована до друку професором
Грудзом В.Я.